

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Leading edge protection for composite blades

Patent number: DE2631856
Publication date: 1977-02-10
Inventor: BRANTLEY JAMES WILLIAM (US); IRWIN THOMAS PATRICK (US)
Applicant: GEN ELECTRIC
Classification:
- **International:** F01D5/12
- **European:** F01D5/28B
Application number: DE19762631856 19760715
Priority number(s): US19750596905 19750717

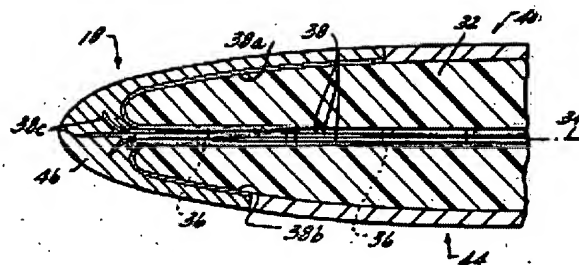
Also published as:

US4006999 (A1)
GB1556181 (A)
FR2318312 (A1)
IT1062505 (B)

Abstract not available for DE2631856

Abstract of correspondent: **US4006999**

A laminated filament composite structure, such as an airfoil for use in an environment in which it is subjected to both foreign object impact and bending is provided with improved leading edge protection. At least one fine wire mesh layer is partially bonded within the composite structure along its neutral bending axis. A portion of the wire mesh layer extends beyond the neutral bending axis and partially around the leading edge where it is bonded to the outer periphery of the primary composite structure. The wire mesh is clad with a metal such as nickel to provide an improved leading edge protective device which is firmly anchored within the composite structure. The neutral bending axis anchoring tends to retain the leading edge protective device intact even after the delamination of the composite structure. Also described is a novel method of constructing a composite airfoil so as to further minimize the possibility of losing the leading edge protective device due to delamination caused by impact and bending.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
11 DE 2631856 C2

51 Int. Cl. 4:
F04D 29/02
F 01 D 5/28

21 Aktenzeichen: P 26 31 856.9-15
22 Anmeldetag: 15. 7. 76
43 Offenlegungstag: 10. 2. 77
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 18. 12. 86

DE 2631856 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31
17.07.75 US 596905

73 Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

74 Vertreter:
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000
Frankfurt

72 Erfinder:
Brantley, James William, Cincinnati, Ohio, US; Irwin,
Thomas Patrick, Fairfield, Ohio, US

56 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 19 53 200
FR 21 65 264
GB 10 40 825
US 37 62 835
VDI-Z.: 112/1970, Nr.20, S.1391;

54 Verdichterschaukel mit Vorderkantenschutz

DE 2631856 C2

Patentansprüche:

1. Verdichterschaukel mit einer Hauptstruktur aus einem Verbundmaterial aus einem leichtgewichtigen Matrixmaterial und einem einen kleinen Durchmesser aufweisenden Fasermaterial hoher Festigkeit und mit einem metallischen Kantenschutz, der die Vorderseite der Hauptstruktur zumindest teilweise umgibt und in der Schaufelhauptstruktur längs deren Schaufelprofil verankert ist, dadurch gekennzeichnet, daß entlang der neutralen Biegeachse (34) der Schaufelhauptstruktur (32) ein Drahtgeflecht (38; 52) aus dünnem Draht mit dem Verbundmaterial verbunden ist, das Drahtgeflecht (38; 52) an der Vorderseite des Verbundmaterials austritt und die austretenden Drahtgeflechtenden in einer mit der Schaufelhauptstruktur (32) verbundenen Hartmetallauflage (46) verankert sind.
2. Verdichterschaukel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Schichten aus Drahtgeflecht im wesentlichen längs der neutralen Biegeachse (34) angeordnet sind, wobei die eine Schicht (38a, 38b) sich über die neutrale Biegeachse (34) hinaus erstreckt und mit dem äußeren Umfang der Schaufelhauptstruktur (32) verbunden ist.
3. Verdichterschaukel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine weitere Drahtgeflechschicht (38c) sich über die neutrale Biegeachse (34) hinaus erstreckt und in der Hartmetallauflage (46) verankert ist.
4. Verdichterschaukel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten aus Drahtgeflecht (38) an der neutralen Biegeachse (34) metallisch miteinander verbunden sind.
5. Verdichterschaukel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß im wesentlichen längs der neutralen Biegeachse (34) in der Schaufelhauptstruktur (32) eine metallische Verankerung (50) angeordnet ist, an der eine Drahtgeflechschicht (52) befestigt ist.
6. Verdichterschaukel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbundmaterialfasern unter der Hartmetallauflage (46) in einer nicht radialen Richtung ausgerichtet sind.
7. Verdichterschaukel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbundmaterialfasern in der Nähe der neutralen Biegeachse (34) zum Aufnehmen radialer Belastungen im wesentlichen radial ausgerichtet sind.
8. Verdichterschaukel nach einem der Ansprüche 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Verbundmaterialfasern vor dem Einbetten in das Matrixmaterial ausgefranst ist.
9. Verdichterschaukel nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Matrixmaterial einen mit Fasern durchsetzten Harzbrei enthält.
10. Verdichterschaukel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Hartmetallauflage (46) in Längsrichtung eingekerbt ist.
11. Verdichterschaukel nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Einkerbung (56) durch die Metallaufflage (46) erstreckt.
12. Verdichterschaukel nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Einkerbung (56) auch durch die Drahtgeflechschicht (38, 52) erstreckt.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Verdichterschaukel mit einem Vorderkantenschutz gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1. Eine derartige Verdichterschaukel ist in der GB-PS 10 40 825 beschrieben.

Während vieler Jahre wurden Versuche zum Ersetzen der relativ schweren, homogenen Metallschaukeln von Gasturbinentriebwerk-Kompressoren durch leichtere zusammengesetzte bzw. Verbundmaterialien angestellt. Die in diese Richtung gehende Hauptbemühung bezieht sich auf das Verwenden von hochfesten, länglichen Fasern, die in einem gewichtsleichten Gefüge eingebettet bzw. mit diesem zusammengesetzt sind. Frühere Arbeiten befaßten sich mit Glasfasern, und neuere Bemühungen bezogen sich auf die Verwendung von Bor-, Graphit- und anderen synthetischen Fasern. Diese letztgenannten Materialien haben extrem große Festigkeitseigenschaften wie auch große Elastizitätsmodule, die zu der notwendigen Steifheit bzw. Festigkeit der Verdichterschaukeln beitragen.

Die Bemühungen zum Verwenden dieser Fasern waren mit vielen Problemen verbunden, insbesondere bezüglich ihrer Anpassung nur für eine Richtung geltenden Festigkeitseigenschaften an ein vielseitig gerichtetes Belastungsfeld. Diese Probleme wurden in großem Ausmaß überwunden, und es wurden zusammengesetzte bzw. Verbundschaukeln mit Leistungseigenschaften geschaffen, die zusätzlich zu den erwarteten und beträchtlichen Gewichtsverminderungen in vielen Bereichen denjenigen der homogenen metallischen Gegenstücke gleichen oder überlegen sind.

Verbundschaukeln wurden jedoch noch nicht in einem großen Ausmaß in Betrieb genommen, und zwar wegen ihrer Verletzbarkeit durch Fremdkörper. Viele Arten von Fremdkörpern können im Einlaß eines Flugzeug-Gasturbinentriebwerks mitgerissen werden, und diese Fremdkörper reichen von großen Vögeln, wie Seemöven, zu Hagelkörnern, Sand und Regen. Die Beschädigung oder Zerstörung durch Fremdkörper erfolgt in zwei Arten. Kleinere Objekte können das Schaufelmaterial erodieren bzw. anfressen und die Leistungsfähigkeit des Kompressors herabsetzen. Ein Aufprallen von größeren Objekten kann zu einem Zerbrechen oder Durchdringen der Schaufeln führen. Teile einer stoßbeaufschlagten Schaufel können losgerissen werden und eine ausgedehnte sekundäre Beschädigung von stromabwärts gelegenen Schaufeln und anderen Triebwerkskomponenten verursachen.

In dieser Beziehung sind die Folgen einer Fremdkörperbeschädigung am größten in den Niederdruckkompressoren oder Gebläsen von Gasturbinentriebwerken mit großem Bypassverhältnis. Diese Komponenten bieten jedoch die größte Möglichkeit einer Gewichtsverminderung infolge ihrer großen Spitzendurchmesser von beispielsweise 2,50 m und Spannweiten in der Größenordnung von 1 m oder mehr.

Die Verletzbarkeit der Verbundschaukeln durch eine Fremdkörperbeschädigung beruht auf zwei Faktoren. Zum einen ist das angewendete gewichtsleichte Gefügematerial, allgemein Polymerharze oder Metalle wie Aluminium, relativ weich. Zum anderen sind die hochfesten Fasern relativ hart und spröde.

Deshalb wurden Schutzsysteme mit einer harten Oberflächenbeschichtung für diese zusammengesetzten Schaufeln geschaffen, wie es auch früher bei hölzernen Propellerschaukeln und für solche Propellerschaukeln zweckmäßig ist, die aus älteren Verbundmaterialien hergestellt sind, beispielsweise aus einem Gewebestoff in einer Phenolharzmatrix. Hierbei wurden Armierung-

en bzw. Verkleidungen aus verschiedenen Zusammen-
setzungen, die auf den Vorderkantenabschnitt oder auf
die gesamte Oberfläche eines Propellers aufgebracht
werden, verwendet, wie es auch in der eingangs genann-
ten GB-PS 10 40 825 oder der FR-PS 21 65 264 be-
schrieben ist.

Ein besonders vielversprechendes System zum Schüt-
ten der Vorderkante von Verbundschaufern ist in der
US-PS 37 62 835 beschrieben, die sich auf einen Fremd-
körperzerstörungsschutz für Kompressorschaufern be-
zieht. Dort wird bei einer Faserverbund-Kompressor-
schaufel eine unter der Oberfläche liegende Schicht aus
eindrahnetz um die Vorderkante herum angeordnet.
Diese unter der Oberfläche liegende Schicht ist mit Nik-
kel überzogen und bildet einen Schutz gegen eine Auf-
rallbeschädigung durch große und kleine Fremdkör-
er, wie Steine und Sand. Wenn die unter der Oberflä-
che liegende Netz- bzw. Geflechschicht durch ein nicht
leitendes Klebmittel festgelegt wird, werden der Kleb-
stoff in den Zwischenräumen des Netzes bzw. Geflech-
es mit Silber beschichtet und das Nickel durch Atom-
indung mit den Knötchen des einen metallischen Strei-
en bildenden Netzes bzw. Geflechtes verbunden.

Es wurde jedoch festgestellt, daß in einigen Fällen, bei
en der Fremdkörper-Vorderkantenschutz einen der-
artigen, um die Vorderkante der Gebläseschaufer ge-
schichteten metallischen Streifen aufweist, dieser
schutz während des Aufpralls von mittelgroßen Vö-
eln verloren gehen kann infolge einer teilweisen Ab-
blätterung bzw. Ablösung von den Schaufern. Dies wie-
derum kann zu einer sekundären Triebwerksbeschädi-
gung führen, wenn der Schutzstreifen durch das Trieb-
werk angesaugt wird. Zusätzlich kann eine Triebwerks-
nwucht bei hohen Drehzahlen eine weitere Beschädi-
gung zur Folge haben.

Eine Betrachtung von Hochgeschwindigkeitsfilmen,
ie während eines solchen Aufprallvorgangs von einer
ich drehenden, geschichteten Verbundgebläseschaufer
ufgenommen wurden, verdeutlicht, daß nacheinander
er Schutzstreifen an der Aufprallstelle bricht, ein star-
es Biegen der Vorderkante rechtwinklig zur Schaufer-
iefe auftritt und der gesamte Streifen an der Vorder-
ante nach Beendigung des Aufprallvorgangs verloren
eht, und zwar infolge eines Abblätterns bzw. Lösen
innerhalb der ersten wenigen Faserschichten (oder Ein-
age unterhalb des Schutzstreifens. Die äußersten Fa-
erschichten lösen sich vom übrigen Teil der Schaufer
nter Mitnahme des Vorderkantenstreifens, da diese
aserschichten nicht selbst die (nunmehr abgelöste)
Vorderkante tragen können und nahe dem Schauferfuß
erechnen. Daher geht der gesamte Vorderkantenstreifen
erlornen.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Verbundschaufer
ür Gasturbinentriebwerke mit einem verbesserten
Vorderkantenschutz zu schaffen, der ohne ein Ablösen
zw. Abblättern von der Schaufer starken Aufprallbelas-
tungen widerstehen kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Maß-
ahme gemäß dem kennzeichnenden Teil der Patentan-
pruches 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in
en Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen
insbesondere darin, daß die Vorderschaufer ein geringes
Gewicht und trotzdem eine hohe Festigkeit aufweist.
Dabei sorgt die Verankerung des Vorderkantenschut-
es an der neutralen Biegeachse dafür, daß der Schutz
takt bleibt, selbst wenn die äußeren Schichten der

Verbundstruktur sich ablösen oder abblättern sollten.
Ferner nehmen die der Matrix eingebetteten Fasern
durch ihre radiale Ausrichtung in der Nähe der neutra-
len Biegeachse die zentrifugalen Belastungen auf, wäh-
rend sie bei durch Aufprall bedingte starke Biegebeans-
pruchung einen minimalen Zug erfahren. Dagegen sind
die Fasern an der äußeren Schauferoberfläche und un-
terhalb des Vorderkantenschutzes nicht radial angeord-
net, um der Schaufer die erforderliche Steifigkeit zu ge-
ben, ohne sie einer so starken Biegebeanspruchung aus-
zusetzen, wenn die Fasern radial ausgerichtet wären.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Beschrei-
bung und Zeichnung von Ausführungsbeispielen näher
erläutert. Es zeigt

Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht eine Gastur-
binentriebwerk-Verdichterschaufer gemäß einem Aus-
führungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 in einem vergrößerten Teilschnitt den Vorder-
kantenschutz der Schaufer gemäß Fig. 1,

Fig. 3 in einem Fig. 2 ähnelnden Teilschnitt ein an-
deres Ausführungsbeispiel des Vorderkantenschutzes,

Fig. 4 in einer Fig. 2 ähnelnden Schnittdarstellung
eines bekannten Vorderkantenschutzes,

Fig. 5 in einer vergrößerten perspektivischen Dar-
stellung einen Teil der Vorderkante der Schaufer gemäß
Fig. 1,

Fig. 6 in einem Teilschnitt längs der Linie 6-6 in
Fig. 5 die längsgerichtete Einkerbung des Vorderkan-
tenschutzes der Schaufer,

Fig. 7 in einem Fig. 6 ähnelnden Teilschnitt ein an-
deres Ausführungsbeispiel der Vorderkantenein-
kerbung,

Fig. 8 in einem Fig. 6 ähnelnden Teilschnitt ein wei-
teres alternatives Ausführungsbeispiel der Vorderkan-
teneinkerbung und

Fig. 9 in einer schematischen Darstellung einen Me-
chanismus zum Verhindern eines Abblätterns der
Schaufervorderkante.

In Fig. 1 ist als ein Ausführungsbeispiel eine zusam-
mengesetzte Rotorschaufer 12 dargestellt, die für eine
Verwendung in einem Axialstrom-Gasturbinenverdic-
ter oder Gebläse geeignet, aber nicht hierauf be-
schränkt ist. Eine Verbesserung kann für viele Gebilde
erreicht werden, die einer Stoßbeaufschlagung und Bie-
gung durch Fremdkörper unterworfen sind. Die Rotor-
schaufer 12 ist mit einem Flügelabschnitt 14 mit radial
veränderlicher Wölbung und Staffelung, einem Schwal-
benschwanzfuß 16, der in einer herkömmlichen Weise
an einer drehbaren Scheibe 18 befestigt ist, und einer dazwi-
schen befindlichen sowie den Strömungspfad begrenzenden
Plattform 17 dargestellt.

Die Hauptstruktur der Schaufer 12 weist längliche
Fasern auf, die einen kleinen Durchmesser, eine große
Festigkeit sowie einen großen Elastizitätsmodul haben
und in einem gewichtsleichten Gefüge bzw. Bindemittel
eingebettet sind. Bei einer Ausführungsform mit vor-
wiegend nichtmetallischen Materialien weist die Haupt-
struktur Graphitfaserlaminat in einem Epoxyharz auf.
Die Hauptstruktur kann jedoch irgendeine Faser ent-
halten, die in irgendeinem Bindemittel, wie einem orga-
nischen Harz, eingebettet ist. Ferner könnte die Haupt-
struktur irgendein metallisches System aufweisen, wie
Borfasern in einem Aluminiumgefüge. Eine solche
Hauptstruktur ist in der eingangs genannten US-PS
37 62 835 beschrieben.

Gemäß den Fig. 1 und 2 ist die Vorderkante der
Schaufer 12 mit einem Kantenschutz 18 versehen, um

einen Schutz für den Faserverbundaufbau zu bilden. Der Kantenschutz 18 erstreckt sich von der Schaufelspitze zur Nabe und endet kurz vor der Plattform 17. Wenn die Schaufel nicht mit einer Plattform ausgebildet ist, erstreckt sich der Kantenschutz 18 von der Spitze bis kurz vor dem Schwalbenschwanzfuß 16. Mit anderen Worten verkleidet bzw. armiert der Kantenschutz den sich in einen Strömungspfad eines sich bewegenden Fluids erstreckenden Schaufelteil, der somit einer Stoßbeeinflussung durch in dem bewegten Fluid enthaltene Fremdpartikel unterworfen ist.

Fig. 4 zeigt den Vorderkantenschutz einer bekannten Schaufel, wobei ein metallischer Überzug 20 um die Vorderkante der Faserverbund-Hauptstruktur 22 geschlungen und hiermit mittels irgendeiner einer Vielzahl bekannter Techniken verbunden ist. Gemäß der vorherigen Erörterung wurde festgestellt, daß Fig. 4 entsprechende Vorderkanten-Schutzvorrichtungen in einigen Fällen während des Aufprallens von Fremdkörpern so weit zerstört wurden, daß die Vorrichtung vollständig von der Schaufel abblätterte.

Es sei beispielsweise angenommen, daß die Schaufel aus Fig. 4 im Bereich der Schaufeldruckoberfläche 30 durch einen Fremdkörper stoßbeaufschlagt wird, der sich längs eines durch einen Vektor 26 repräsentierten Pfades bewegt. Bei dem Aufschlag biegt sich die Schaufel in Umfangsrichtung um ihre neutrale Biegeachse 28. (Die neutrale Biegeachse wird als der Ortspunkt definiert, der eine Ebene der Schaufel bestimmt, welche bei einem Biegevorgang einer Nullfaserbelastung unterliegt). Ein starkes Biegen führt zu einem Nachgeben der relativ duktilen Metallarmierung 20 und zu einem Brechen bzw. Reißen unter der Materialspannung der brüchigen Graphitfasern nahe der Druckoberfläche 30, wodurch sich ein das Abblättern begünstigender Zustand ergibt. Beim Zurückbiegen oder Zurückführen in den anfänglichen »geraden« Zustand muß die nachgegebene Metallarmierung entweder bis zu ihrer Anfangslänge zurückgedrückt oder bis zu einer anderen stabilen Position umgebogen bzw. abgelenkt werden. Da die wirksame Länge der um die Saugoberfläche geschlungenen Metallarmierung 20 (die als ein Flansch bzw. Rand zur Erhöhung der Steifigkeit dient) klein und bereits eine teilweise Abblätterung von der Druckoberfläche aufgetreten sind, ist die Metallarmierung an der Druckoberfläche ungehalten bzw. ungestützt. Ein Wölben bzw. Krümmen und weiteres Abblättern an oder nahe der Saugoberfläche 24 beim Rückwärtsbiegen führt dann zu einem vollständigen Abtrennen der Metallarmierung von der Vorderkante der Schaufel. Die Zentrifugalbelastung beendet das Ablösen der Metallarmierung durch Brechen bzw. Reißen der wenigen verbliebenen Fasern an dem Schaufelfuß.

Bei dem verbesserten Vorderkantenschutz 18 gemäß Fig. 2 sind mehrere Schichten aus Feindrahtgeflecht 38 längs der neutralen Achse 34 der Schaufel teilweise in dem Gefügematerial der Hauptstruktur 32 eingebettet. Bei vielen fortgeschrittenen Schaufeln, bei denen die Vorderkante relativ gerade (ohne Wölbung) ist, ist die neutrale Achse der Schaufel der Schaufelmittellinie angenähert, wenn ein »pseudoisotropischer« Aufbau der Faserlaminat angenommen wird. Wenn der Aufbau orthotropisch ist, kann die neutrale Achse von der Schaufelmittellinie abweichen, wobei sie jedoch durch bekannte Verfahren bestimmbar ist.

Das Einbetten des Drahtgeflechtes in die Hauptstruktur hat den Zweck einer Verankerung der die Vorderkante schützenden Metallarmierung, und es erfolgt kein

Abtrennen oder Abblättern der Drahtgeflechte von den angrenzenden Faserlaminaten, da sie bei einer Biegung definitionsgemäß eine Nullbelastung aufweisen. Diese verschiedenen Schichten aus Drahtgeflecht 38 sind zum Verhindern einer gegenseitigen Bewegung wie bei 36 durch Heftschiweißung behandelt oder zusammengelötet, wobei die Anzahl der Drahtgeflechtschichten von der erforderlichen Größe und Festigkeit der Verankerung abhängt.

Das freie Ende einer solchen Drahtgeflechtschicht 38a ist um die Vorderkante geschlungen und mit der Schaufeldruckoberfläche 40 in einer Weise verbunden, wie es im US-Patent 37 62 835 beschrieben ist. Eine zweite Drahtgeflechtschicht 38b ist auf die Schaufelsaugoberfläche 44 zurückgeschlagen und ebenfalls in der bekannten Weise mit dieser Oberfläche verbunden. Es erfolgt dann eine Atombindung einer Hartmetallarmierung 46 an dem Drahtgeflecht, und zwar wiederum in einer im US-Patent 37 62 835 beschriebenen Weise. Wenn eine zusätzliche Verankerung erforderlich ist, können ein oder mehrere der übrigen freien Enden 38c der Drahtgeflechtschichten während des Aufbauvorgangs der Metallarmierung 46 in dieser verankert werden. Somit wird eine verbesserte Verankerung eines Vorderkantenschutzes an einer Faserverbundschaufl erhalten. Ein derartiger verbesserter sowie an der neutralen Achse verankerter Vorderkantenschutz bleibt sogar nach einem Abblättern der oberflächennahen Faserlaminat unversehrt und mit der Schaufel verbunden.

Fig. 3 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel bezüglich eines Festlegens des Kantenschutzes an einer Schaufel. Hierbei ist ein Metallanker 50 in der Hauptstruktur 32 längs der neutralen Achse eingebettet. Drahtgeflechtschichten 52 sind durch Heftschiweißung, Lötung oder in anderer Weise wie bei 54 an dem Metallanker 50 befestigt. In allen anderen Beziehungen ähnelt dieses Ausführungsbeispiel demjenigen in Fig. 2, und die Metallarmierung 46 ist in der bekannten Weise mit dem Drahtgeflecht oder -gitter verbunden.

Zusätzliche Vorteile können sich dadurch ergeben, daß die Faserlaminat bzw. -schichten während des Aufbaus der Hauptstruktur in spezifischen Richtungen ausgerichtet werden. Wenn beispielsweise die Fasern an der Außenfläche der Hauptstruktur und unmittelbar unter der Metallarmierung in einer von der radialen Richtung abweichenden Richtung ausgerichtet werden, lassen sich hierdurch ein Reißen bzw. Brechen der Fasern unter Zugbeanspruchung und die Abblätterungsneigung als Ergebnis einer starken Biegung vermeiden. Diese »Vorspannungs«-Einlage nahe der Schaufeloberfläche führt zu einer Steifigkeit bzw. Festigkeit der Schaufelvorderkante, ohne daß die Einlage einem derartig starken Biegungszustand unterworfen wird, wie er auftreten würde, wenn eine radiale Ausrichtung vorhanden wäre. Jedoch stellt dieser Aufbau einen Kompromiß bezüglich der radialen Belastungsfähigkeit dar. Dies wird dadurch kompensiert, daß radiale Fasern an oder nahe an der neutralen Achse angeordnet werden, wo sie die zentrifugale Belastung aufnehmen können, aber weniger unter dem starken Aufprallbiegungszustand belastet werden.

Eine zusätzliche Scherfestigkeit kann in der Hauptstruktur dadurch erreicht werden, daß die Fasern eines jeden Laminats bzw. einer jeden Schicht oder Folie vor der und während der Herstellung ähnlich wie ein Mop ausgefranst werden. Dies neigt zu einer Verminderung der orthotropischen Natur eines jeden Laminats und, als ein Ergebnis, seiner Beanspruchungsfähigkeit und Stei-

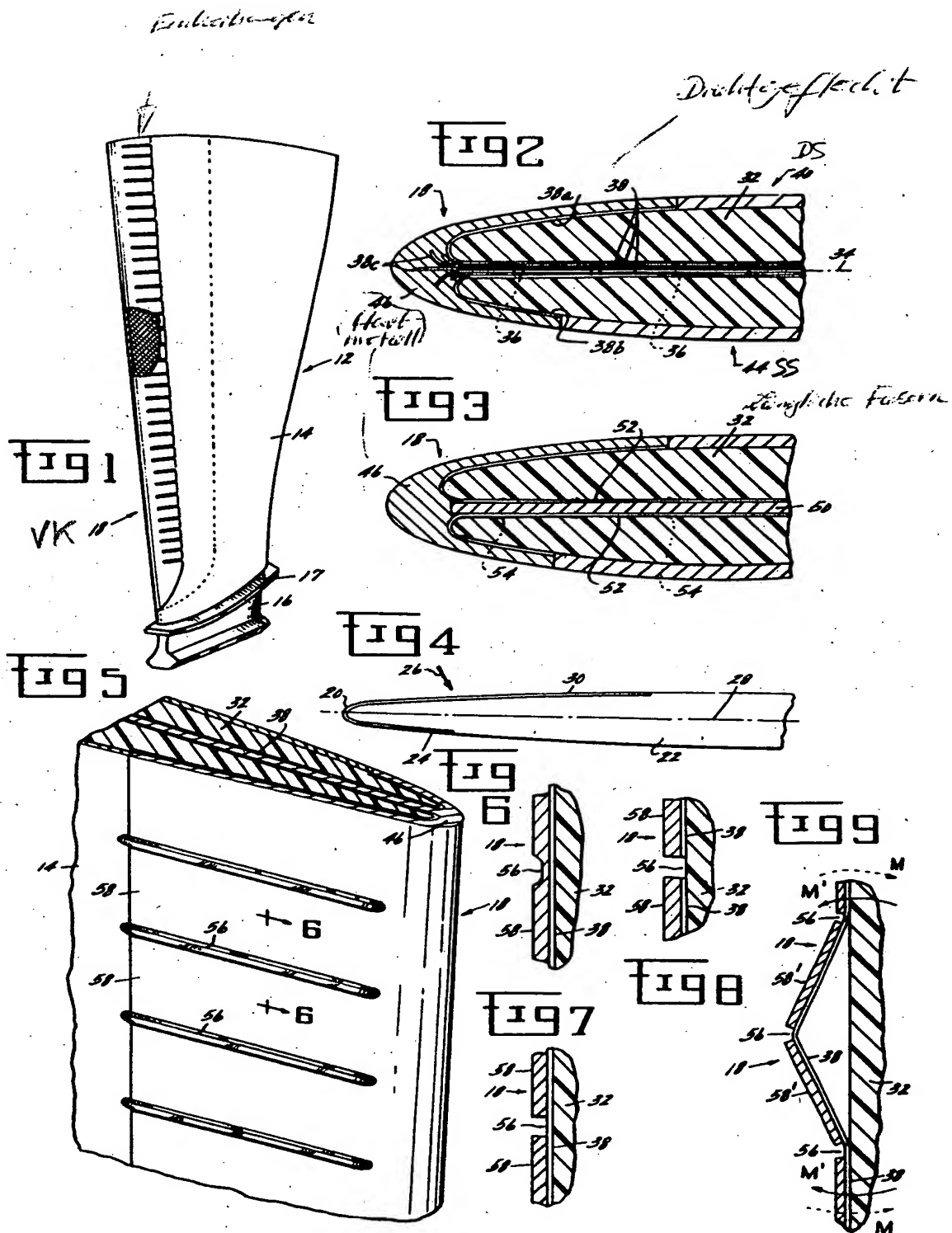
figkeit. Jedoch verstärkt ein Vermischen der Fasern die Scherfestigkeit. Größere Ablenkungen sind als Ergebnis der leichten Abnahme in der Steifheit möglich, wodurch die Stoßdauer verlängert und hierdurch der Spitzenwert der Stoßbeaufschlagung vermindert werden. Bei einer teilweise zufälligen Ausrichtung der einzelnen Fasern werden ferner der Stoßbeaufschlagung und Biegung nicht alle Fasern gleichzeitig bis zu einem Bruch bzw. Reißen belastet. Ein zusätzlicher Vorteil kann dadurch erzielt werden, daß zwischen die Faserschichten bzw. -lamine ein Brei aus mit Harz durchtränkten zerhackten Verbundfasern gebracht wird, wodurch benachbarte Schichten mit zufällig ausgerichteten zerhackten Fasern mechanisch miteinander verbunden und die Scherfestigkeit weiter verbessert werden.

Ferner sind Mittel zum Lokalisieren jeglicher Beschädigung infolge eines Fremdkörperaufpralls und somit zum Verhindern eines Verlustes des gesamten Vorderkantenschutzes vorhanden. Fig. 5 zeigt in einer vergrößerten perspektivischen Ansicht einen Abschnitt der Vorderkante der mit dem verbesserten Schutz versehenen Schaufel gemäß Fig. 1. Wie es bereits erörtert wurde, ist einer der Gründe für den vollständigen Verlust der schützenden Hartmetallauflage 46 das Ausbeulen derselben, wenn sie in einem nachgegebenen bzw. gedehnten Zustand mittels eines Kompressionsvorgangs auf ihre anfängliche Länge zurückgedrückt werden soll. Eine Lösung dieses Problems besteht in einem Einschneiden bzw. Einkerbigen der Hartmetallauflage gemäß Fig. 5 in Sehnenrichtung, um ein örtliches Ausbeulen hervorzurufen. Wie in den Fig. 6 bis 8 dargestellt ist, kann sich die Einkerbung (oder Riffelung) 56 teilweise durch die Metallauflage 46 (Fig. 6), ganz durch die Metallauflage (Fig. 7) oder durch die Metallauflage und das Drahtgeflecht 38 (Fig. 8) erstrecken. Die Aufgabe dieser Einkerbung besteht darin, ein örtliches Knicken bzw. Verformen des Kantenschutzes bei einem starken Biegevorgang hervorzurufen und die zum örtlichen Ausbeulen einer nachgegebenen Vorderkante erforderliche Belastung zu reduzieren, wodurch die Neigung zum Abblättern vermindert wird.

Gemäß Fig. 9 ist der Vorderkantenschutz 18 in mehrere Plättchen 58 unterteilt. Ferner sei angenommen, daß unter Biegebelastungen, die durch gestrichelte Biegemomente M dargestellt sind, die Plättchen 58' von der Hauptstruktur 32 abgeblättert sind, wobei das Ausmaß des Abblätterungsvorgangs durch die Einkerbung 56 begrenzt wird. Bei einem Zurückbiegen durch die Momente M' üben die Plättchen 58' eine rechtwinklig zur Schaufeloberfläche gerichtete Kraft auf benachbarte Plättchen 58 aus, wodurch die Abblätterungsneigung des Vorderkantenschutzes weiter vermindert wird. Somit führt ein Einkerbigen der Vorderkante dazu, daß eine Neigung zum Verlust bzw. Ausfallen des gesamten Vorderkantenschutzes vermieden wird.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)